

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**



## [12] 发明专利申请公开说明书

[21]申请号 94108065.X

[51]Int.Cl<sup>6</sup>

G01B 11/02

[43]公开日 1996年2月14日

[22]申请日 94.8.8

[71]申请人 陈明彻

地址 100013北京市安外小黄庄路9号中国建筑科学院建材所

共同申请人 范晓华 黄晓敏

[72]发明人 陈明彻 范晓华 黄晓敏

[74]专利代理机构 北京申翔知识产权服务公司专利  
代理部

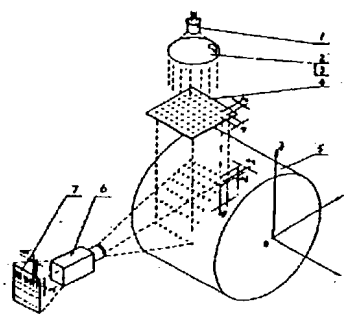
代理人 石光鸿

权利要求书 3 页 说明书 8 页 附图页数 3 页

[54]发明名称 非接触式三维轮廓实时测量方法和系统

[57]摘要

本发明为一种非接触式三维轮廓实时测量方法和系统, 将一束结构光束按选定方位照射到被测物体上, 结构光束在一已知平面上所成的特征点的相互间的排列和距离是已知的, 在一已知的平面上使被测物体上的光斑成像, 可测得各光斑的三维坐标, 从而可计算出被测物体的轮廓和三维尺寸, 测量系统包括结构光源 8, 成像系统 9 和数字处理与控制系统 10。



1、一种非接触式三维轮廓实时测量方法，包括

a、产生一束结构光束，将该结构光束在一选定的三维坐标系  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  中沿  $Z$  轴方向和一定位置照射到被测物体的表面上，该结构光束在该选定的坐标系中的一个垂直于  $Z$  轴的平面上所成的特征点之间的排列和距离是已知的；

b、将该结构光束在被测物体表面所形成的光斑在一平面上成像，并将该图像输出，所说的成像平面在所说的坐标系中的方位是已知的；由该图像可以求出点的三维坐标；

c、将所成的图像进行数字处理，数字处理包括下列步骤，将图像数字化和存储，数据处理，显示输出和进行程序控制；

所说的图像数字处理是利用光学的放大作用和点的几何关系来处理图像上的点间的关系，利用图像上的  $\Delta x'i$ ， $\Delta y'i$ ， $\Delta z'i$ ，求出在被测物体上的  $\Delta xi$ ， $\Delta yi$ ， $\Delta zi$ ，

由  $\Delta xi$ ， $\Delta yi$ ， $\Delta zi$  即可按常规计算法拟合出所测曲面的函数进而求出所测曲面的轮廓和参数。

2、按权利要求 1 所说的测量方法，其特征在于所说的结构光束在一垂直于  $Z$  轴的平面上所成的特征点是光点阵列或相交线的交点的阵列。

3、按权利要求 1 或 2 所说的测量方法，其特征在于所说的结构光束的特征点在在选定的坐标系中是按  $x$  轴和  $y$  轴方向排列的，各特征点在的间距为  $\Delta x$ ， $\Delta y$ 。

4、按权利要求 3 所说的测量方法，其特征在于所说的特征点的间距  $\Delta x$ ， $\Delta y$  相等。

5、按权利要求 1 所说的测量方法，其特征在于所说的结构光束的特征点是成一系列平行于 Y 轴排列的。

6、按权利要求 1 所说的测量方法，其特征在于所说的成像平面平行于  $ox$  和  $oz$  坐标，其  $\Delta z_i$ ， $\Delta z'_i$  的关系式为：

$$\Delta z_i = \frac{\Delta z'_i}{\Delta x'_i} \Delta x$$

7、按权利要求 1 所说的测量方法，其特征在于所说的成像平面平行于  $ox$  坐标并与  $oz$  坐标成  $\alpha$  角，其  $\Delta Z_i$  与  $\Delta Z'_i$  的关系式为：

$$\Delta z_i = \frac{\Delta z'_i \Delta x}{\cos \alpha \Delta x'_i} - \tan \alpha \Delta x$$

8、一种非接触式三维轮廓实时测量系统，包括：

a、一个结构光源 8，该光源产生结构光束，在一选定的坐标系 X、Y、Z 中，该结构光束沿 Z 轴方向照射到被测物体上，所说的结构光束在一垂直于照射方向的平面所成的特征点之间的排列和距离是已知的；

b、一个成像系统 9，由一个滤色片 11 和一个 CCD 摄像机 6 组成，它将结构光束在被测物体表面形成的光斑在一已知平面 7 上成像，并将该图像输出；

c、一个数字处理与控制系统 10，由图像数字化器，数据处理器，显示输出器和逻辑控制器组成，该数字处理

系统接受成像系统 9 输出的图像并将其转换为数据，经计算后由数码管进行显示和由打印机打字输出，其转换和计算方法是选定的坐标系和成像平面的方位为基础按所用的设备决定并是常规的。

9、按权利要求 8 所说的测量系统，其特征在于所说的结构光源 8 包括一个发光器 1、扩束透镜 2、准直透镜 3 和空间编码器 4。

10、如权利要求 9 所说的测量系统，其特征在于所说的发光器 1 是二极管激光器。

11、按权利要求 8 所说的测量系统，其特征在于所说的 CCD 摄像机包括一个光学像机，CCD 传感器（电荷耦合器件）和数字化板。

12、按权利要求 8 所说的测量系统，其特征在于所说的数字处理与控制系统 10 是一台计算机及一些逻辑电路。

## 非接触式三维轮廓实时测量方法和系统

本发明涉及长度，直径，角度，面积，不规则的表面或轮廓的计量，特别是涉及采用光学方法为特征的计量方法、设备、数据识别以及记录载体的处理领域。

在机械零件的生产加工过程中，特别是在精加工的加工和检验过程中，要对工件的表面和尺寸进行及时的测量以满足质量控制要求，公知的办法是令工件停止运动以手工工具来完成上述测量，这不但费时费力，也不准确，故希望有一种非接触式的测量系统来完成在不停止运动的情况下或在专门的检验过程中能够精确完成测量任务的方法，由盖马赫（Gamache）等人于1991年2月27日申请的美国专利5193120提出了一种三维轮廓测量系统，它是由几条平行的激光光带所组成的结构光束照射在被测物体的表面，然后在一定角度记录下这些光带在物体上所成的像，该像仍是一条条随着物体外形形状而改变的曲线，其空间各点的坐标是由一个三元线性方程组解出，方程组的系数中包含有光学镜头的像差因子 $e$ ，放大率 $m$ 和放大率随成像距离的变化率及描述该光线的等式所需的参数等，这些因素在每次测量以前都需实地标定，此外，方程组是测量及标定量的多次方程，因而测量及计算的误差都很大，计算复杂，不合作动态测量。

本发明的目的是克服上述测量方法的缺点，提供一种简单、经济、准确的动态测量方法和系统，它能实时精确测量动态或静态物体的表面轮廓和表面的三维尺寸数据，

而不需以工具触及被测物体的表面。

本发明的目的是按下述方案实现的，产生一束结构光束，将该结构光束在一选定的三维坐标系 X、Y、Z 中沿 Z 轴方向和一定位置照射到被测物体的表面上，该结构光束在该选定的坐标系中的一个垂直于 Z 轴的平面上所成的特征点之间的排列和距离是已知的，然后将结构光束在被测物体表面上所形成的光斑在一平面上成像，并将该图像输出，该成像平面在所说的坐标系中的方位是已知的，然后将所成的像进行数字处理，数字处理包括下列步骤，将图像数字化和存储，数据处理和显示输出，同时由逻辑控制器控制整个测量过程。被测物体上的光斑间的 X 向、Y 向坐标  $\Delta X_i$ 、 $\Delta Y_i$  与结构光束的特征点的  $\Delta X$ 、 $\Delta Y$  相同，Z 向坐标  $\Delta z_i$  由图像中给出的 Z 向坐标  $\Delta Z'_i$  按下式计算：

当成像平面与 X O Z 面平行时：

$$\Delta Z_i = \frac{\Delta Z'_i}{\Delta X'_i} \Delta x \quad。$$

当成像平面平行于 O X 轴并与 O Z 轴成  $\alpha$  角时：

$$\Delta Z_i = \frac{\Delta Z'_i}{\cos \alpha \Delta X'_i} \Delta x - \tan \alpha \Delta X$$

由  $\Delta X_i$ ， $\Delta Y_i$ ， $\Delta Z_i$  可拟合出被测物体的表面函数结构和参数，进而可与理论值进行校核。

本发明的非接触式三维轮廓实时测量系统包括结构光

源，该光源能产生如上所述的结构光束并将光束沿 Z 轴方向照射到被测物体上，还包括成像系统和数字处理与控制系统；成像系统包括一个滤色片和一个 C C D 摄像机，它将照射到被测物体上的结构光所成的光斑在一已知方位的平面上成像；数字处理与控制系统由图像数字化器，数据处理器，显示输出器和逻辑控制器组成，该系统接受成像系统的图像并将图像转换为数据，经计算后进行显示和打印输出，由逻辑控制器进行全部测量程序的控制，进而可以控制机加工程序。

所说的结构光源包括一个发光器，一个扩束透镜，一个准直透镜和一个空间编码器。

所说的 C C D 摄像机包括一个光学像机、C C D 传感器（电荷耦合器件）和数字化板。

所说的数字处理与控制系统可以是一台计算机和一些逻辑电路，也可以是其它设备。

下面结合附图和实施例对本发明作进一步的描述：

图 1 为本发明的测量方法的原理图；

图 2 为本发明的测量系统的结构示意图；

图 3 为本发明的测量方法中成像平面与 O X 轴平行并与 O Z 轴成  $\alpha$  角时的示意图。

图 1 通过实施例来说明本发明的测量方法的原理，在选定的 x, y, z 三维坐标系中，令被测物体 5 具有圆柱表面，其轴线与 x 轴同向，1 为发光器，它可以是二极管激光器或其它适用的发光器，由于激光可以使照射的光斑最小，故其效果最佳，今以激光器为例对本实施例进行说



明，所产生的散射的激光光束经扩束透镜 2 和准直透镜 3 调整为与  $z$  轴平行的光束，再经空间编码器（例如二维衍射光栅）4 变成结构光束，结构光束照射在所选定的坐标系中的一个已知平面上所成的光斑分布可以是点阵（光点阵列），也可以是相交线（直线或曲线，线以直角或成一定角度相交）的线阵，点阵中的光斑和线阵中的相交点作为结构光的特征点，在该平面上，各特征点之间的排列和距离是已知的，例如，在本实施例中，该结构光束中在垂直于照射方向  $Z$  的平行于  $x \circ y$  的平面上所成的特征点的排列方向和相互间的间距是已知的，即排列方向与  $x$  轴或  $y$  轴平行且间距  $\Delta x$ ， $\Delta y$  是已知的且是相等的，将此结构光束按选定的方向和位置（如沿  $z$  轴方向并照射在  $x$  轴的一侧）照射到被测物体 5 的表面，在与  $x \circ z$  平行的平面上将结构光束在被测物体上形成的光斑成像，成像是由 CCD 摄像机 6 完成的，摄像机所成的像如 7 所示，其中光斑间具有间距  $\Delta x'$ ， $\Delta z'$ ，故此记录了光斑间的坐标在三维  $x$ ， $y$ ， $z$  轴的变化，（当然成像平面也可以是其他任意角度的），像 7 的信号输给数据处理与控制系统，按照常规的计算程序，即可计算出被测物体的轮廓和三维尺寸数据，然后以数字或图像的方式输出。

由上述成像方法可知，将已知结构的结构光束照在三维物体的表面上，由于物体表面在第三维（ $z$ ）方向上坐标的变化，所成光斑或特征点的空间位置将不在一平面内，CCD 摄像机捕捉这一变化，从而可按选定的三个坐标轴给出物体表面的所有三维坐标，即各点的  $x$ ， $y$ ， $z$  坐标。

由于坐标原点可以是任意的，此三维分布就可以由相邻两点之间的相对空间位置或两点之间的矢量差（ $\Delta x$ ， $\Delta y$ ， $\Delta z$ ）来表示，物体表面的轮廓可由一函数， $f(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$  来表示本实施例的结构光束的特征点分布是均匀的，已知的，故被测物体上的光斑沿  $x$  轴和  $y$  轴方向的分布也是已知的，如令  $\Delta x$ ， $\Delta y$  为已知常数，则被测物体上的任意相邻两光斑在三维坐标中的间距为  $\Delta x$ ， $\Delta y$ ， $\Delta z$ ，其中  $\Delta x$ ， $\Delta y$  与结构光束的相同，是已知的，只有  $\Delta z$  为待测量，按本实施例，成像平面与  $xoz$  面平行，如被测物体上任意相邻两光斑的间距为  $\Delta x_i$ ， $\Delta z_i$ ，则像面上该任意相邻两点的间距  $\Delta x'_i$ ， $\Delta z'_i$  可由图像处理方法求出，设摄像机镜头在该点的放大率为  $m_i$ ，则可利用光学的放大作用和点的几何关系来处理图像上的点的关系：

$$m_i = \frac{\Delta x'_i}{\Delta x_i}$$

$\Delta x$  是相等的，故  $\Delta x_i = \Delta x$  是已知的，

$$\text{则 } m_i = \frac{\Delta x'_i}{\Delta x_i} = \frac{\Delta x'_i}{\Delta x} \dots\dots (1)$$

$$\text{又 } m_i = \frac{\Delta z'_i}{\Delta z_i} \dots\dots (2)$$

将 (1) 代入 (2)

$$\text{则 } \Delta z_i = \frac{\Delta z_i'}{m_i} = \frac{\Delta z_i'}{\Delta x_i' / \Delta x} = \frac{\Delta z_i'}{\Delta x_i'} \Delta x$$

..... (3)

所以，由图像测得的  $\Delta X'_i$ 、 $\Delta Z'_i$  可求出  $\Delta Z_i$ ，则  $\Delta x_i$ 、 $\Delta y_i$ 、 $\Delta z_i$  可拟合出被测物体的表面函数结构和参数，给出曲面形状和三维尺寸。并可与理论值进行校核。

图 3 为本发明的第二种实施例的示意图，其成像平面与 OZ 轴成  $\alpha$  角。

如前所述，成像平面可以是其他任意角度的，如与 OX 轴平行而与 OZ 轴成一角度或与 OZ 轴平行而与 OX 轴成一角度，但此角度应是已知的，以便计算，在计算时加入校正率数即可。本实施例为成像平面 7 与 OX 轴平行并与 OZ 轴成一角度  $\alpha$ ，即成像平面 7 的法线（即照像机的光轴）与 OZ 轴的垂直面成  $\alpha$  角，此时像面上各点与实物上光斑之间的关系为

$$\Delta z_i = \frac{\Delta z'_i \Delta x}{\cos \alpha \Delta x'_i} - \tan \alpha \Delta x$$

本测量系统将 CCD 摄像机镜头的放大率、随空间（沿 z 轴及 y 轴）引起的放大率的变化、由于物距不同所引起的放大率的变化以及放大率差（象差的一种）引起的放大率变化都考虑在内了，因而无须任何其它的标定和校正手段及系统，所以是一个完美的、精确的测量方法。

图 2 是本发明测量系统的结构示意图，该系统包括结

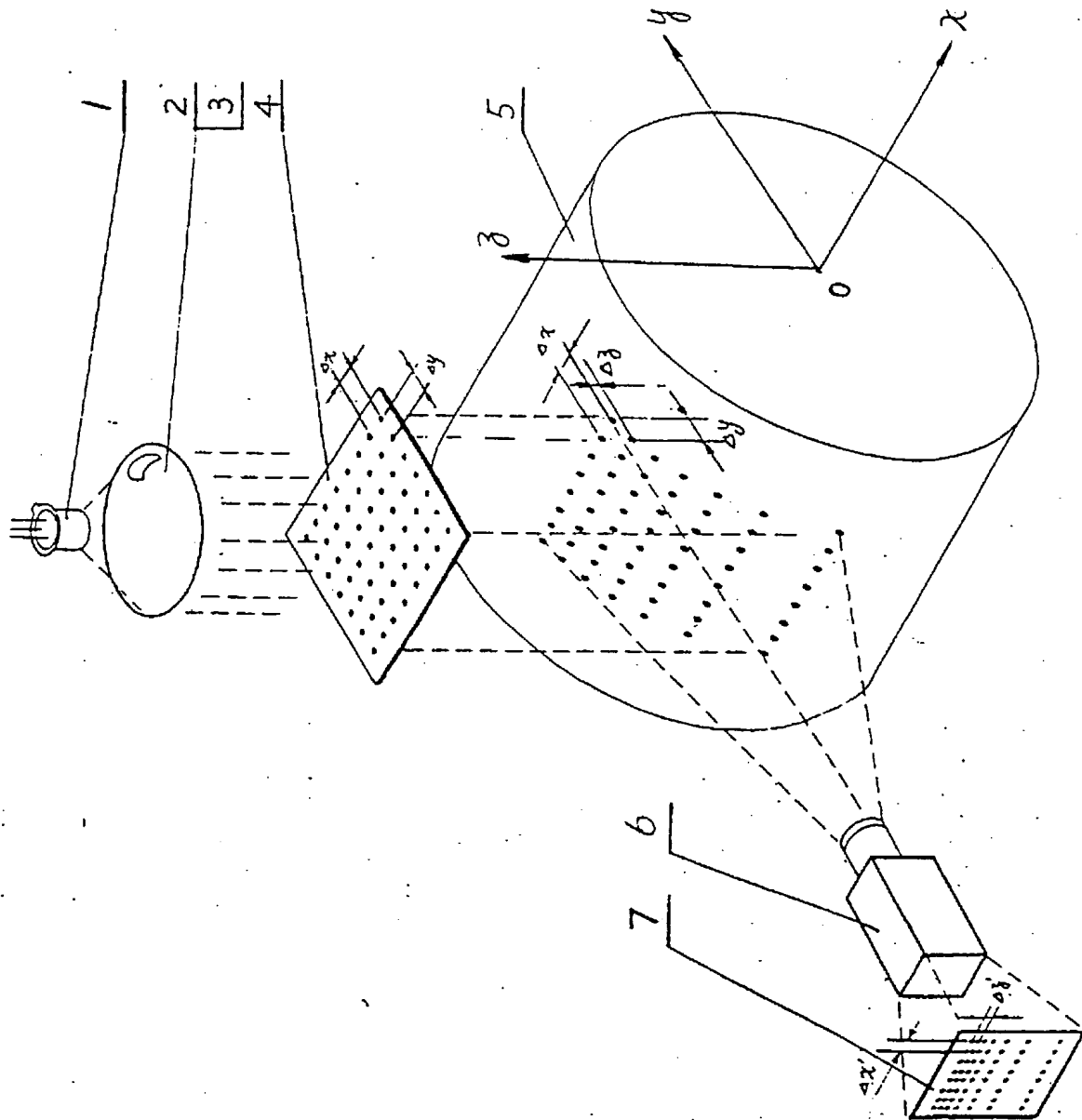
构光源 8，成像系统 9 和数字处理与控制系统 10。

结构光源 8 包括发光器 1，如前所述，今以二极管激光器为例进行说明，所产生的光经扩束透镜 2 和准直透镜 3 扩展到需要的面积并变成平行光，再经空间编码器 4（如二维衍射光栅）使之变成为结构光束，该结构光束在一选定的坐标系中（如  $x$ 、 $y$ 、 $z$ ）位置和角度已知的平面上所成各特征点之间的距离是已知的，例如在与结构光束照射方向  $Z$  相垂直的平面  $xoy$  上所成的光斑是按需要排列的，其间距和方向均是已知的，将此结构光束按选定方位照射到被测物体 5 的表面上，在表面形成许多光斑，并均有其三维的坐标，这些光斑由成像系统在一已知方位的平面上成像，成像系统包括 CCD 摄像机 6 和滤色片 11，CCD 摄像机包括光学像机，CCD 传感器（电荷耦合器件）和数字化板，所成图像输给数字处理与控制系统 10，该系统包括逻辑控制器，图像数字化器，数字处理器和显示输出器，首先将数据取出，求出像面上各光斑间的位移  $\Delta x_i'$ ， $\Delta y_i'$ ， $\Delta z_i'$ ，然后按不同方位的成像平面所决定的不同的计算方法求出各光斑的  $z$  方向的位移  $\Delta z_i$ ，由  $\Delta x_i$ ， $\Delta y_i$ ， $\Delta z_i$  的坐标可按常规计算法拟合出所测曲面的函数进而给出所测的轮廓和参数，由数码管和打印机显示和打印出来，即可与理论值进行比较，系统 10 还按程序控制所有操作步骤，如 CCD 的感光时间，模/数转换率及数据传输速率，使全系统各部分协调一致。

对于不同的被测物体，可以选择不同的结构光束所成的特征点的阵列或阵列的多少，如用于测量圆柱体的直径

时，可以只用一系列特征点组成的结构光或平行光线所成的结构光，即可满足测量直径的要求，因此可以大大减少设备的费用。当为特征点所组成的结构光束时，结构光束的特征点可以是一列平行于 Y 轴的点，其间距已知，如果沿 Z 轴的放大率事先标定好，由图像上的  $\Delta Z'_i$  可很容易的求出  $\Delta Z_i$ ，即可容易的求出圆柱体的形状和尺寸。所以它还可以简化算法，提高速率。

本发明的方法和系统，在工件上只是光的照射，故可实现实时的在线测量，不必停止被测物体的运动，可大大减少操作时间，工作方法和设备均很简单，经济，成本低，测量准确，提高了自动化程度和工作效率，减少废品，优化工艺，通过控制系统，还可以实现机床的自动控制，是一种简单、经济、精确的测量系统。



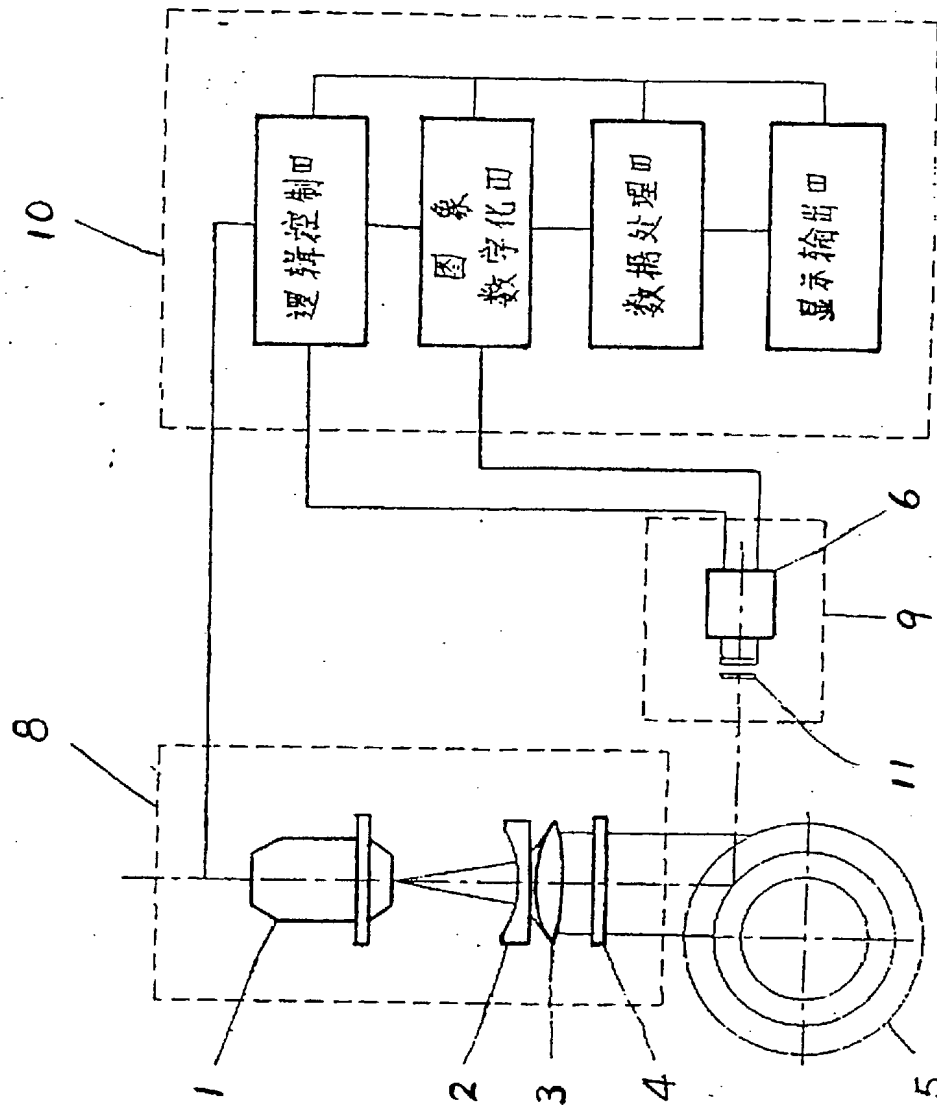
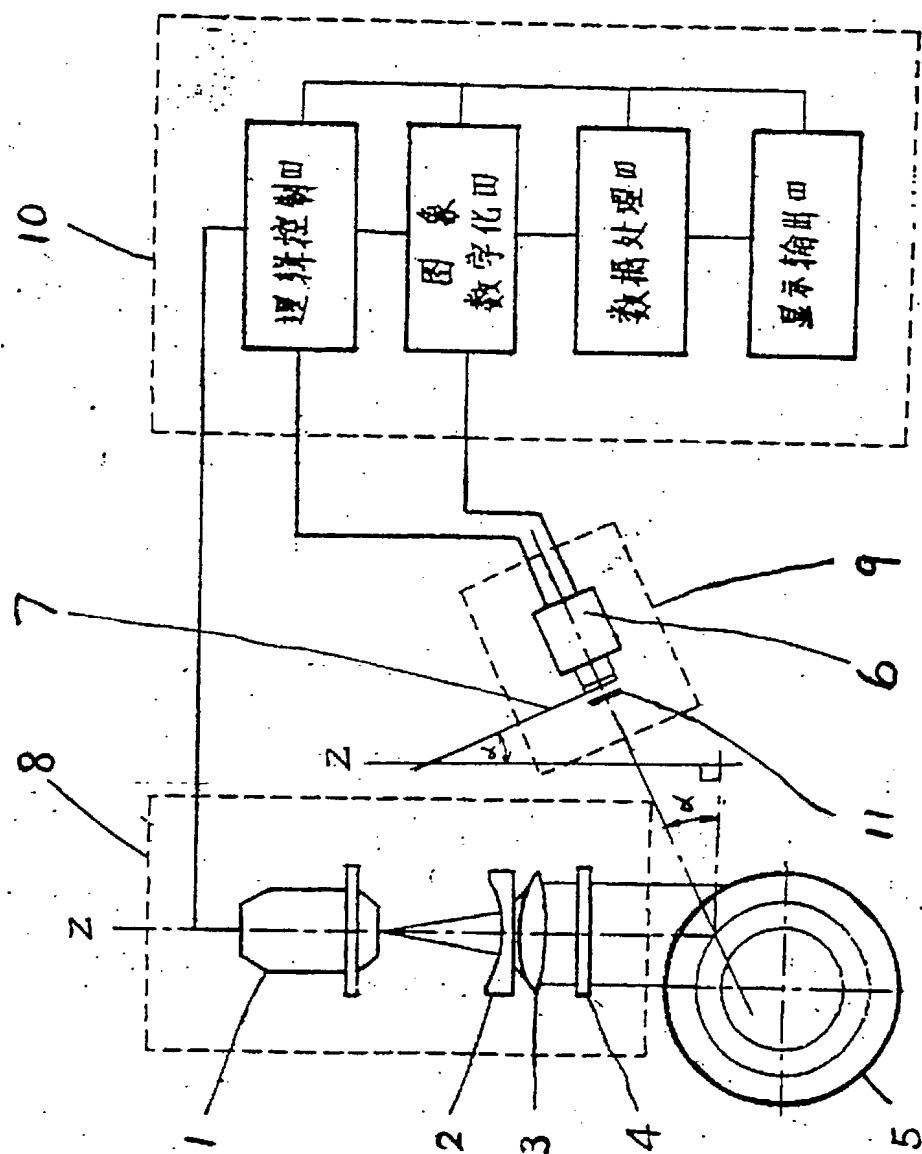


图 2



3